

УДК 681.511

А.Д. Руденко, Б.В. Мельничук, ст. гр. ПН-91мп, к.т.н., доц. К.М. Божко
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРОБЛЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ ЛІНІЙНОГО КОНТРОЛЕРА: ТЕОРІЯ І ПРАКТИЧНІ РІШЕННЯ

Анотація. Автори наводять основні принципи побудови оптимального за критерієм внутрішньої стійкості лінійного контролера. Розглянуто класичний підхід, а також модель Дезоера-Чжана. Розробка схемної і програмної складових контролера є центральною проблемою створення системи регулювання. Проблему оптимізації зведено до пошуку таких форм передаточних функцій, які не мають нулів та полюсів. Наступним етапом є створення відповідного алгоритму. При цьому враховують реальні характеристики датчиків і об'єкта регулювання. Функція шумів, яку ввели Дезоер і Чжан при розгляді систем регулювання, є універсальним інструментом для їх опису і значно спрощує процес розрахунку і визначення стійкості системи.

Автори навели приклади практичного застосування розробки лінійного контролера: регулятора температури водогрійного котла електролізерного типу, а також контролера заряду літєвих батарей із покращеним алгоритмом.

Ключові слова: лінійний контролер, метод опуклої оптимізації, впливаючий пристрій, внутрішня стійкість, передаточна матриця замкненої системи.

ВСТУП

В процесі створення системи управління є такі проміжні кроки:

1) Моделювання або ідентифікація. Проектувальник розробляє математичні моделі відповідних аспектів функціонування керованої системи, використовуючи ті чи інші відомості про неї і експериментально спостерігаючи її реакцію (відгуки) на різні дії. Така процедура називається ідентифікацією системи [1].

2) Конфігурація схеми управління. Вибір і розміщення датчиків і впливаючих пристроїв (ВП).

3) Проектування контролера. Контролер, або закон управління, описує обробку сигналу, яку здійснює управляючий процесор для генерації сигналів для ВП за сигналами датчиків.

4) Реалізація контролера. Після вибору закону управління необхідно спроектувати керуючий процесор, що реалізовує цей закон. Проектування може включати в себе механічні конструкції, аналогові і цифрові схеми, а також програмне забезпечення.

5) Випробування та перевірка системи управління. Цей етап передбачає проведення машинних експериментів зі складною, детально розробленою математичною моделлю, моделювання в реальному масштабі часу роботи системи спільно з реальним керуючим процесором і реальні експлуатаційні випробування системи.

На думку авторів, центральним у зазначеному процесі є пункт третій. Розглянемо такий важливий його аспект, як оптимізація з метою забезпечення стійкості.

ТЕОРЕТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОЦЕСУ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛІНІЙНОГО КОНТРОЛЕРА

Основною метою проектування лінійного контролера є досягнення ним граничних характеристик методами опуклої оптимізації [2]. Одним із головних замкнено-опуклих обмежень є внутрішня стійкість. Робота контролера в будь-

якій системі регулювання обумовлена сигналами від датчиків та впливаючих пристроїв (Рис. 1).

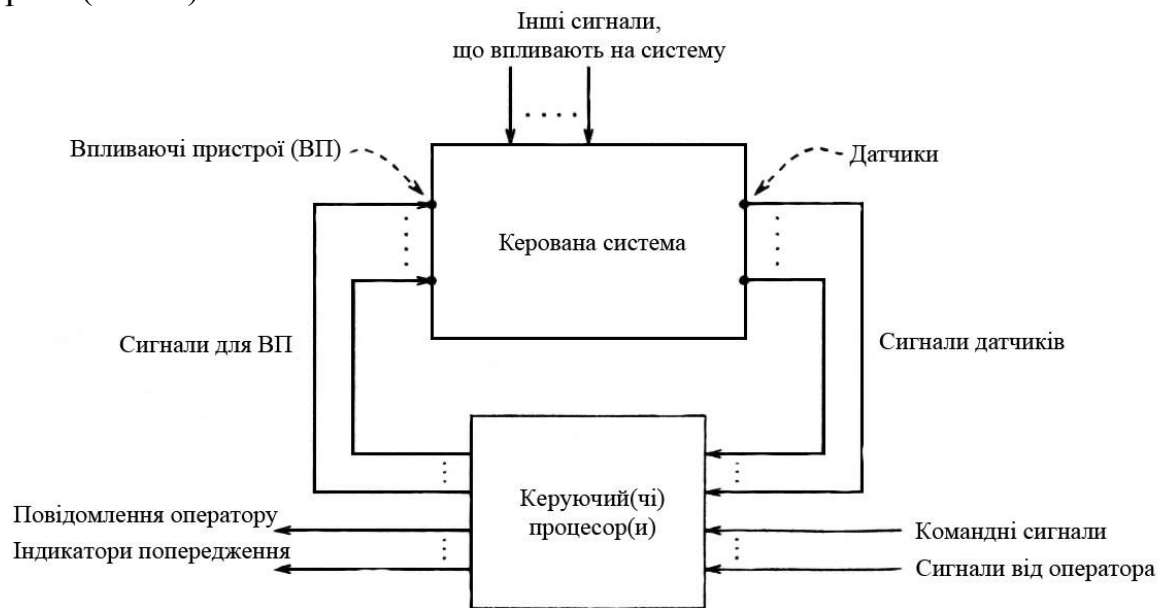


Рисунок 1. Структурна схема загальної системи управління із контролером (процесором)

Відомо, що раціональна передаточна функція стійка, якщо вона має не більше нулів, ніж полюсів, і якщо кожен полюс має від'ємну дійсну частину; передаточна матриця стійка, якщо всі її елементи є стійкими передаточними функціями. Існує декілька способів вираження того, що замкнута система внутрішньо стійка.

а) Всі внутрішні передаточні функції стійкі. Передаточна функція по сигналу, який було введено до замкнутої системи в будь-якій її точці до будь-якої іншої точки цієї системи (рис. 2), стійка.

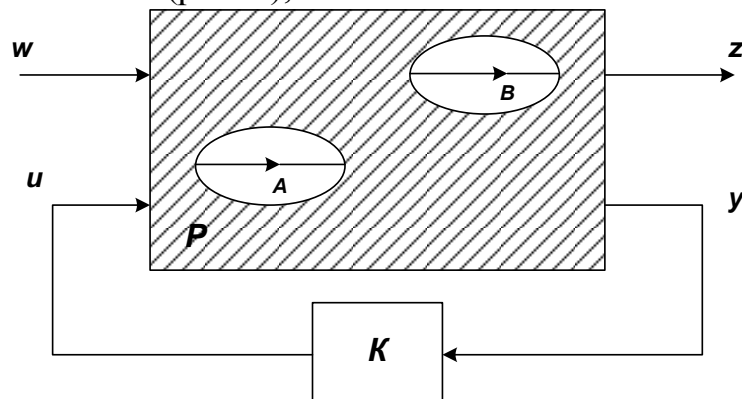


Рисунок 2. Сигнали A та B , які є внутрішніми по відношенню до об'єкту P ; w , z – зовнішні сигнали; K – контролер; u , y – сигнали контура зворотного зв'язку

б) Опис замкнутої системи в просторі станів стійкий. Якщо опис замкнутої системи в просторі станів має вид $\dot{x} = A_{cl}x + B_{cl}w$, $z = C_{cl}x + D_{cl}w$ то всі власні значення матриці A_{cl} мають від'ємну дійсну частину.

с) В класичному управлінні із одним ВП і датчиком не існує нестійкого придушення нулів та полюсів між об'єктом і контролером.

д) В 1975 р. Дезоер та Чжан [3] запропонували формальне визначення внутрішньої стійкості. В цьому визначенні використовуються два допоміжні

сигнали v_1 та v_2 , введені як показано на рис. 3. Сигнал v_1 можна інтерпретувати як шум ВП, а v_2 — як шум датчика.

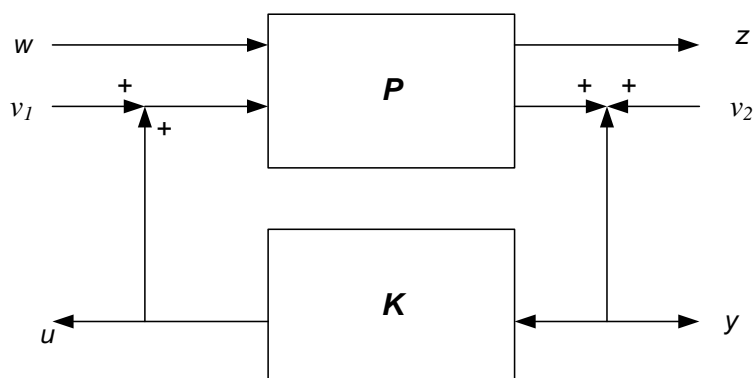


Рисунок 3. – Шуми датчика та впливаючого пристрою(ВП), що використовуються в формальному визначенні внутрішньої стійкості

Визначення (1)-(4) за Дезоером і Чжаном по суті забороняє дуже малим (обмеженим) шумам ВП і датчика дуже сильно (необмежено) впливати на сигнали u або w і, як наслідок, на вихідний сигнал контролера z . Рівняння (3), наприклад, визначає передаточну функцію за шумом ВП до виходу об'єкта регулювання. За відсутністю полюса або нуля, ця функція буде стійкою.

Оптимізація лінійного контролера, таким чином, зведена до пошуку відповідної до властивостей об'єкту регулювання ПМЗС, такої, щоб рівняння типу (1)-(4) не мали нулів і полюсів. Наступний етап проектування полягає в реалізації алгоритму ПМЗС у вигляді програмного коду.

ПРИКЛАДИ ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ОПТИМІЗОВАНОГО КОНТРОЛЕРА

Авторами проведено аналіз контролерів (регуляторів) температури в системах нагрівання та їх моделей за критерієм внутрішньої стійкості. Результатом дослідження стала обрана модель контролера:

$$W(s) = \frac{K_p}{\tau s + 1} \exp(-sL), \quad (5)$$

де τ — стала часу процесу нагрівання; L — транспортна затримка теплоносія

Отримана модель була втілена в регуляторі електролізерного водогрійного котла, розробленого на основі мікроконтролера сімейства PIC16 та цифрового датчика температури типу DS18S20.

DS18S20 — це контактний термометр, який вимірює температуру у діапазоні від 0 до +100 °C із кроком у 0,5 °C та часом перетворення 0,2 с. Здатність розрішення у 0,5 °C та розрядність 9 біт забезпечують високу точність вимірювання, а доступ до внутрішніх лічильників дає можливість збільшити розділення із застосуванням інтерполяції.

Застосування цифрового термометра типу DS18S20 забезпечило внутрішню стійкість системи нагрівання, в прямому і зворотному контурах якої було встановлено по одному датчику. Перший датчик унеможливорює перегрів та закипання теплоносія, а другий — запобігає перевитратам теплової енергії. Встановлений зазор між порогом спрацювання контактора і температурою

носія у три кельвіна (гістерезис регулювання) запобігає частому спрацюванню контактора та подовжує термін експлуатації регулятора і системи в цілому на 15-20%.

Додатковим фактором стійкості системи регулювання температури водогрійного електролізерного котла є наявність одно-дротового інтерфейсу 1-Wire датчика DS18S20.

Іншим прикладом оптимізації лінійного контролера є схема заряду літієвих акумуляторних батарей, де алгоритмічно забезпечено оптимальний профіль процесу заряду. Вдосконалений алгоритм надав підвищену на 20% кількість циклів перезаряду батарей і на таку ж величину – подовження терміну їх експлуатації.

Зовсім інший алгоритм заряду використано для залізо-нікелевих та метал-гідридних батарей. Універсалізація алгоритму заряду для усіх типів акумуляторів неможлива, тому необхідна розробка різних схем і алгоритмів для контролерів заряду. Використання в системах заряду акумуляторних батарей аналогового датчика струму, як джерела додаткового шуму в схемі Дезоера-Чжана, актуалізує задачу оптимізації контролера за критерієм внутрішньої стійкості. Актуальним є поєднання масиву акумуляторних батарей із автономною сонячною електростанцією. Тут характерним є режим слідкування за точкою максимальної потужності сонячних батарей (MPPT – maximum Power Point Tracer).

ВИСНОВКИ

Сучасне проектування лінійного контролера забезпечено як теоретичним підґрунтям, так і численними прикладами їх алгоритмічної та схемотехнічної реалізації. В основі проектування знаходиться задача вирішення проблеми внутрішньої стійкості контролера. Цю задачу вирішують на основі розроблених моделей, їх формалізації у вигляді системи алгебраїчних рівнянь і подальшому аналізу на наявність нулів і полюсів. Відсутність нулів і полюсів в модельних рівняннях і є критерієм стійкості. Тут використано підхід Дезоера та Чжана, у якому джерела сигналів зводять до шумових компонент від датчика та об'єкта регулювання. В проведеному дослідженні опрацьовано основні дії розробника при створенні ним лінійного контролера та його оптимізації. Наведені приклади реально діючих контролерів, які були оптимізовані, зокрема мікроконтролерний регулятор температури водогрійного котла електролізерного типу, а також контролери заряду акумуляторних батарей.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Льюнг Л. Идентификация систем: теория для пользователя. – М. :Наука. – 1991. – 432 с.
- [2] Boyd S., Barratt C. Linear Controller Design: Limits of Performance. – Prentice Hall, 1991. – 426 p.
- [3] Desoer C.A., Chan W.S. The feedback interconnection of lumped linear time-invariant systems. //J. Franklin Inst., vol. 300, pp. 335-351, Nov.-Dec. 1975.

